

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 2325786 C2

⑮ Int. Cl. 3:  
H01J 37/24

DE 2325786 C2

⑯ Aktenzeichen: P 23 25 786.5-33  
⑯ Anmeldetag: 22. 5. 73  
⑯ Offenlegungstag: 19. 12. 74  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 6. 10. 83

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:

Leybold-Heraeus GmbH, 5000 Köln, DE

⑯ Erfinder:

Thomas, Friedrich Werner, Dipl.-Ing., 6461  
Niedermittlau, DE; Vock, Gerhard, Dipl.-Ing., 6450  
Hanau, DE

⑯ Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-OS 19 35 710  
DD 70 874

⑯ Schaltung zur Regelung der Betriebsparameter eines Elektronenstrahlerzeugers

FIG. 1

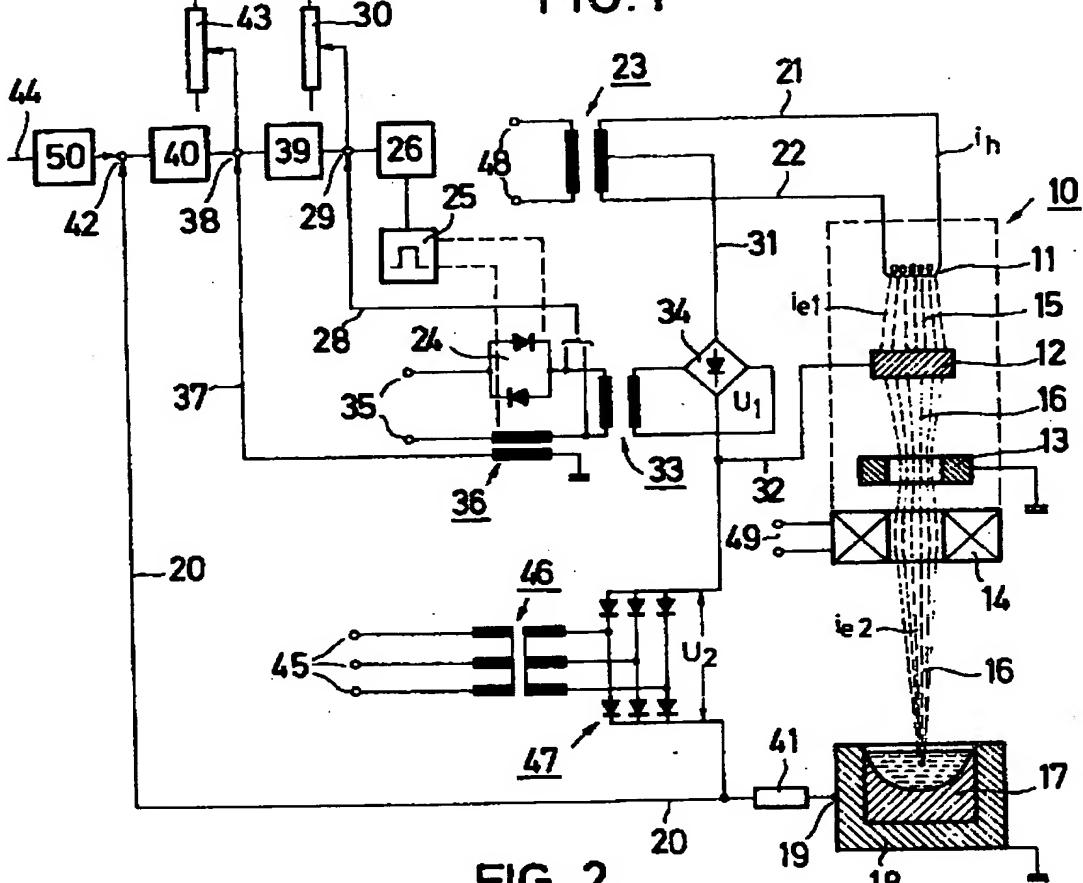
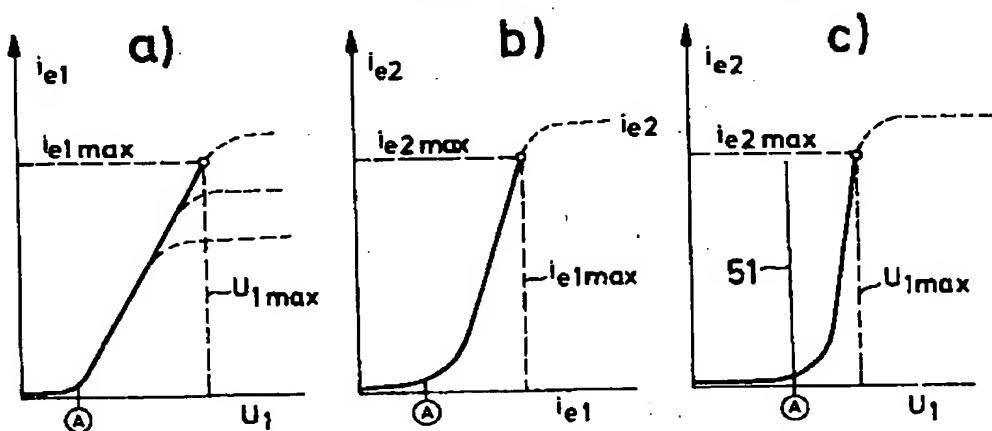


FIG. 2



## Patentansprüche:

1. Schaltung zur Regelung der Betriebsparameter eines Elektronenstrahlerzeugers, insbesondere für Zwecke des Verdampfens, Schmelzens, Schweißens, Schneidens und Bohrens, bestehend aus einer unmittelbar beheizbaren Hilfskatode und aus einer mittelbar durch die Hilfskatode beheizbaren Hauptkatode mit Mitteln zur Rückführung eines dem Emissionsstrom der Hauptkatode entsprechenden Signals zu einer Regeleinrichtung für die Energieversorgung der Hilfskatode, dadurch gekennzeichnet, daß die Regeleinrichtung für die Hilfskatode (11) aus drei in Kaskadenanordnung geschalteten Einzelreglern (26, 39, 40) besteht, und daß ein Signal, das der Beschleunigungsspannung der Hilfskatode (11) entspricht, einem Beschleunigungsspannungsregler (26), ein weiteres vom ersten getrenntes Signal, das dem Emissionsstrom der Hilfskatode (11) entspricht, einem dem Beschleunigungsspannungsregler (26) überlagerten Emissionsstromregler (39) für die Regelung des Emissionsstroms der Hilfskatode (11) und schließlich ein drittes unabhängiges Signal, das dem Emissionsstrom der Hauptkatode (12) entspricht, einem dem vorgenannten Emissionsstromregler (39) überlagerten Emissionsstromregler (40) für die Regelung des Emissionsstroms der Hauptkatode (12) aufgeschaltet ist.

2. Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß den Eingängen der Einzelregler (26, 39) je eine vorzugsweise veränderbare Kompensationsspannungsquelle zugeordnet ist, deren Polarität derjenigen des rückgeführten Signals entgegengesetzt ist.

3. Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Mischpunkt (42) des Emissionsstromreglers (40) für die Regelung des Emissionsstroms der Hauptkatode (12) ein die Anstiegs geschwindigkeit des Sollwerts begrenzendes Glied (50) vorgeschaltet ist.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Indirekt beheizte Katoden für Elektronenstrahlsysteme gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sie den direkt beheizten Katoden hinsichtlich Leistungsdichte und Standzeit merklich überlegen sind. Hierbei ist von Bedeutung, daß sich die Standzeit einer Katode umgekehrt proportional zu der ihr aufgezwungenen Leistungsdichte verhält. Indirekt beheizte Katoden sind auch weniger empfindlich gegenüber Einflüssen des zu bearbeitenden bzw. behandelnden Guts. Es hat daher nicht an Versuchen gefehlt, direkt beheizte Elektronenstrahlsysteme von Hochleistungskanonen durch indirekt beheizte zu ersetzen. Ein erhebliches Hindernis auf diesem Wege ist jedoch das ungenügende Regelverhalten der indirekt beheizbaren Kanonen.

Durch die DE-OS 19 35 710 ist bereits eine Schaltung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt, bei der lediglich der Strahlstrom des Hauptstroms erfaßt und einem Regelsystem aufgeschaltet wird, das in Parallelschaltung und mit gleichsinniger Wirkung die Heizung der Primärkatode sowie die Beschleunigungsspannung

zwischen Primär- und Sekundärkatode beeinflußt. Nach den dort gemachten Ausführungen ist es zwar möglich, einen der beiden parallelen Regelkreise wegzulassen, jedoch wird dann lediglich der Regelkreis für die Heizung der Hilfskatode wirksam, der in Folge der Eigenart der Katode eine beträchtliche Trägheit verbunden mit einem ungünstigen Einschwingverhalten besitzt. Eine Regelung oder gar Begrenzung des Emissionsstroms zwischen Hilfs- und Hauptkatode ist nicht vorgesehen, so daß das bekannte System sehr anfällig auf eine Überlastung und/oder eine Störung reagiert. Sofern der Hauptstrahl nicht mehr aufgefangen wird oder das Meßsignal, z. B. durch eine Leitungsunterbrechung, nicht mehr in die Regelanordnung zurückgeführt wird, tritt automatisch ein Hochregeln der Heizleistung der Hilfskatode ein, die notwendigerweise im Extremfall bis zur Zerstörung der Hauptkatode führt. Eine Stabilisierung des bekannten Regelsystems ist praktisch nicht möglich, so daß eine erhebliche Schwingungsneigung beim Auftreten von Regelungsvorgängen in Kauf genommen werden muß. Hierbei ist insbesondere von Bedeutung, daß Elektronenstrahlerzeuger für Schmelz- und Materialbearbeitungsanlagen spontanen Änderungen der Betriebsparameter unterliegen. Da bei der bekannten Schaltung der Regelkreis nur die Beschleunigungsspannung an der Hauptkatode beeinflußt, ändern sich die Elektronengeschwindigkeiten und damit notwendigerweise auch die Strahlfokussierung, weil die Ablenkung von Elektronen sich bei konstantem Magnetfeld der elektromagnetischen Fokussierungslinse mit der Elektronengeschwindigkeit ändert. Gerade die Strahlfokussierung für den Emissionsstrom der Hauptkatode aber soll bei bestimmten Bearbeitungsvorgängen möglichst unverändert bleiben. Schließlich ist auch bei dem bekannten System keine Vorsorge für die Vermeidung von Totzeiten in den einzelnen Teilsystemen getroffen worden.

Durch die DD-PS 70 674 ist es bei einem aus Primär- und Sekundärkatode bestehenden Katodensystem bekannt, die Emissionstemperatur der Sekundärkatode konstant zu halten. Dies geschieht über den Heizstrom der Primärkatode, die von einer Transduktorschaltung beeinflußt wird. Der Widerstand der Transduktorschaltung wird außer von einem Sollwert mittels einer ersten Steuerwicklung über zwei elektrische Kreise beeinflußt, in denen weitere Steuerwicklungen liegen, die beide der ersten Steuerwicklung entgegenwirken. Der eine elektrische Kreis erfaßt den Heizstrom der Primärkatode, der andere elektrische Kreis den Emissionsstrom der Primärkatode, der zur Sekundärkatode fließt. Beide elektrische Kreise sind über Stellwiderstände einstellbar und besitzen Zenerdiode, die das Regelverhalten von Zweipunktreglern besitzen. Wie aus der Funktionsbeschreibung hervorgeht, stellen die beiden elektrischen Kreise sogenannte Begrenzungsschaltungen dar, durch welche die Maximalwerte des Heiz- und Emissionsstroms der Primärkatode festgelegt werden. In der bekannten Schaltung fehlt völlig eine Erfassung und Regelung des Emissionsstroms der Hauptkatode, der für viele Fälle, insbesondere aber zur kontinuierlichen Regelung des gesamten Elektronenstrahlerzeugers unerlässlich ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltung der eingangs genannten Art anzugeben, die sich durch gutes Stabilitätsverhalten, kurze Ansprechzeiten, geringe Regelabweichungen, die Möglichkeit der Begrenzung der einzelnen Regelgrößen und eine leichte Inbetriebnahme gegenüber dem Stande der Technik

auszeichnet.

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei der im Oberbegriff des Anspruchs 1 beschriebenen Schaltung erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 genannten Merkmale.

Durch die erfindungsgemäße Schaltung wird die gestellte Aufgabe in vollem Umfang gelöst: Die Schaltung weist ein ausgezeichnetes Stabilitätsverhalten bei Eingriffen in die Betriebsparameter auf. Es erfolgt eine sofortige Oberschwingungsfreie Einstellung auf sprunghafte Änderungen vorgegebener Werte. Durch die bei der erfindungsgemäßen Schaltung erreichte Konstanthaltung der Beschleunigungsspannung der Hauptkatode unterliegt die Strahlfokussierung keinen unerwünschten Änderungen. Die systembedingten Totzeiten können zwischen den in Reihe geschalteten Einzelreglern jeweils unterdrückt werden, so daß sich keine Addition der Totzeiten ergibt. Jede der einzelnen Störgrößen wird für sich genommen zurückgeführt, so daß jeder der dadurch gebildeten Regelkreise für sich stabilisiert werden kann.

Gegenüber dem Stande der Technik gestattet die erfindungsgemäße Kaskadenschaltung eine unabhängige Optimierung sämtlicher drei Regelkreise. Nach einer Optimierung des ersten Regelkreises ist es möglich, auch den zweiten und danach den dritten Regelkreis zu optimieren, ohne daß nach jeder Optimierung jeweils der vorangegangene Regelkreis neu optimiert werden muß. Diese Unabhängigkeit der Regelkreise hat dynamische Vorteile, welche die inhere Trägheit der Hilfskatode bzw. deren Beheizung mehr als ausgleichen.

Außerdem ermöglicht die Kaskadenschaltung eine Begrenzung der einzelnen Regelgrößen in jedem Regelkreis. Die Begrenzung kann hierbei auch unterschiedlich sein, je nach dem Werkstoff und damit der Temperaturbeständigkeit der Hauptkatode. Dies ist insbesondere deswegen von Bedeutung, weil der Strahlstrom der Hilfskatode mit einer großen Energie dichte auf die Hauptkatode auftrifft, die unvermeidbar eine gewisse Wärmeträgheit besitzt. Eine zu starke Beheizung führt häufig zum teilweisen Verspritzen und Verdampfen des Materials der Hauptkatode, so daß eine verkürzte Lebensdauer die Folge ist. Die erfindungsgemäße Schaltung zeichnet sich zusätzlich durch eine wesentlich größere Standzeit des gesamten Katodensystems aus.

Die Unterdrückung der Totzeiten erfolgt gemäß einer Weiterbildung der Erfindung gemäß dem Anspruch 2, dadurch, daß den Eingängen der Einzelregler je eine vorzugsweise veränderbare Spannungsquelle zugeordnet ist, deren Polarität derjenigen des rückgeführten Signals entgegengesetzt ist. Die Spannungsquelle kann dabei beispielsweise von einem unter Spannung stehenden Verstellwiderstand gebildet werden. Eine andere Weiterbildung der Erfindung ist im Anspruch 3 gekennzeichnet.

Ein Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes und seine Wirkungsweise seien nachfolgend anhand der Fig. 1 und 2 näher beschrieben.

Es zeigt

Fig. 1 das Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Schaltung einschließlich der wesentlichsten Teile eines Elektronenstrahlerzeugers in schematischer Darstellung und

Fig. 2 Diagramme von Emissionsströmen der Haupt- und Hilfskatode in Abhängigkeit von Heizstrom bzw. Emissionsstrom der Hilfskatode.

In Fig. 1 ist mit 10 eine indirekt beheizbarer

Elektronenstrahlerzeuger eines Typs bezeichnet, wie er für Schmelz- und Verdampfungszwecke eingesetzt wird. Der Elektronenstrahlerzeuger besteht aus einer direkt beheizbaren Hilfskatode 11, einer indirekt beheizbaren 15 Hauptkatode 12, einer Beschleunigungsanode 13 und einer Fokussierungslinse 14. Im Betrieb sendet die Hilfskatode 11 einen Emissionsstrom  $i_{e1}$  aus, durch den die Hauptkatode 12 auf die gewünschte Betriebstemperatur gebracht wird. Richtung und Leistung des Heizelektronenstroms 15 werden durch die Beschleunigungsspannung  $u_1$  zwischen Hilfs- und Hauptkatode bestimmt. Die Hauptkatode 12 sendet ihrerseits unter dem Einfluß ihrer Betriebstemperatur und einer Potentialdifferenz  $u_2$  zur Beschleunigungsanode 13 ein Elektronenbündel 16 aus, das durch eine elektromagnetische Fokussierungslinse 14 fokussiert wird. Die Fokussierungswirkung läßt sich durch Veränderung des an den Klemmen 49 angelegten Fokussierungsstromes beeinflussen. Das Elektronenbündel 16 trifft schließlich 20 auf das zu behandelnde Gut 17, beispielsweise eine zu schmelzende und/oder zu verdampfende Metallmenge auf, wobei sich die Strahlenergie in Wärme umwandelt. Das Gut 17 befindet sich in einem elektrisch leitenden Behälter 18, der einen Anschluß 19 besitzt. Dieser Anschluß 19 steht über den Widerstand 41 mit der Anodenseite des Gleichrichters 47 in Verbindung. Über die Leitung 20 wird dem Regelsystem der Istwert des Emissionsstroms der Hauptkatode zugeführt. Einzelheiten des Elektronenstrahlerzeugers 10, seine Anwendung und die Einflüsse seiner Betriebsparameter sind jedoch Stand der Technik, so daß sich ein weiteres Eingehen hierauf erübrigt.

Der Hilfskatode 11 ist über die Leitungen 21 und 22 ein Transformator 23 vorgeschaltet, der den Heizstrom  $i_h$  und die Heizspannung für die Hilfskatode 11 liefert. Die Heizstromversorgung erfolgt über die Anschlußklemmen 48. Die Anschlußspannung kann stabilisiert sein. Durch Anschluß der Sekundärseite des Transformators 23 über eine Leitung 31 und der Hauptkatode 12 über eine Leitung 32 an einen Gleichrichter 34 mit Transformator 33 kann zwischen Hilfskatode 11 und Hauptkatode 12 eine Potentialdifferenz  $u_1$  erzeugt werden, die als Beschleunigungsspannung für den Heizelektronenstrom 15 dient. Klemmen 35 dienen zum Anschluß des Systems an eine Spannungsversorgung. Auf der Primärseite des Transformators 33 befindet sich zur Regelung der Beschleunigungsspannung und damit der Heizleistung ein Thyristorsteller 24, dem die benötigten Steuerimpulse von einem Gittersteuersatz 25 zugeführt werden. Der Gittersteuersatz erhält seinerseits die erforderlichen Regelsignale von einem Beschleunigungsspannungsregler 26. Ein der Beschleunigungsspannung  $u_1$  proportionales Signal wird über die Leitung 28 auf den Mischpunkt 29 des Beschleunigungsspannungsreglers 26 zurückgeführt. Durch diese Rückführung wird erreicht, daß die Beschleunigungsspannung und damit die Temperatur der Hauptkatode 12 auf vorgegebene Werte begrenzt werden kann. Dem rückgeführten Signal wird außerdem eine Kompensationsspannungsquelle entgegengeschaltet, durch welche die systembedingten Totzeiten der Elektronenstrahlerzeugers vermindert und die Ansprechgeschwindigkeiten erhöht werden. Die erforderliche Kompensationsspannungsquelle enthält im vorliegenden Fall einen Verstellwiderstand 30.

Der Emissionsstrom  $i_{e1}$  der Hilfskatode 11 teilt sich auch der Primärseite des Transformators 33 mit und wird auch von dort über einen Wandler 36 und eine

Leitung 37 zum Mischpunkt 38 des Emissionsstromreglers 39 zurückgeführt, der dem Beschleunigungsspannungsregler 26 vorgeschaltet ist, d. h. das Ausgangssignal des Emissionsstromreglers 39 ist das Sollwertsignal für den unterlagerten Beschleunigungsspannungsregelkreis. Durch die Rückführung des Emissionsstroms  $i_1$  wird erreicht, daß die Emissionsstromstärke des Hilfskatodenkreises und damit die Temperatur der Hauptkatode 12 auf vorgegebene Werte begrenzt werden kann. Analog zur Anordnung am Eingang des Beschleunigungsspannungsreglers 26 wird auch hier dem Mischpunkt 38 des Emissionsstromreglers 39 eine Kompensationsspannungsquelle mit Verstellwiderstand 43 aufgeschaltet, wodurch die Totzeit des Hauptkatodenstromsystems eliminiert werden kann. Jede Änderung des Emissionsstroms  $i_1$  teilt sich damit auch sofort dem Beschleunigungsspannungsregler 26 mit und führt infolgedessen zur jeweils erforderlichen Vergrößerung oder Verkleinerung der Beschleunigungsspannung der Hilfskatode.

Dem Emissionsstromregler 39 für die Hilfskatode 11 ist ein Emissionsstromregler 40 für die Regelung des Emissionsstromes der Hauptkatode 12 vorgeschaltet, d. h. das Ausgangssignal des Emissionsstromreglers 40 ist das Sollwertsignal für den unterlagerten Emissionsstromregelkreis der Hilfskatode. Dem Mischpunkt 42 des Reglers 40 werden neben dem Sollwertsignal 44 ein dem Emissionsstrom  $i_2$  der Hauptkatode 12 bzw. dem Strahlstrom des Elektronenbündels 16 entsprechendes Regelsignal über die Leitung 20 zugeführt, die über einen Widerstand 41 – zur Erzeugung eines Spannungsabfalles für die Messung – mit dem Anschluß 19 am Behälter 18 in Verbindung steht. Jede Änderung des Sollwertes der Emissionsströme der Haupt- und Hilfskatode teilt sich damit sofort dem Emissionsstromregler 39 und dem Beschleunigungsspannungsregler 26 mit. Um durch schnelle Änderung des Sollwertsignals 44 die Katode nicht zu stark dynamisch zu beanspruchen,

kann dem Mischpunkt 42 ein die Anstiegsgeschwindigkeit des Sollwerts begrenzendes Glied 50 vorgeschaltet werden.

Die Versorgung des Strahlerzeugers mit Hochspannung erfolgt über die Anschlußklemmen 45, den Dreiphasentransformator 46 und den Gleichrichtersatz 47. Bei Versorgung mehrerer Strahlerzeuger durch eine Spannungsquelle wird für das Rückführungssignal zweckmäßig ein auf der Hochspannungsseite des 10 Transformators angeordneter Wandier benutzt.

Fig. 2 zeigt den funktionellen Zusammenhang der einzelnen Betriebsparameter des Elektronenstrahlerzeugers. Fig. 2a gibt die Abhängigkeit des Emissionsstroms  $i_1$  der Hilfskatode 11 von der Höhe der Beschleunigungsspannung  $u_1$  wieder. Der Emissionsstrom gehorcht der Schottky-Langmuir'schen Raumladungsgleichung, wonach gilt:  $i_1 = u_1^{3/2}$ . Je nach Emission der Katode wird die Sättigung (Übergang des Emissionsstroms in die Waagerechte) bei kleinerer oder größerer Spannung  $u_1$  erreicht. Fig. 2b zeigt die Abhängigkeit des Emissionsstromes  $i_2$  der Hauptkatode 12 vom Emissionsstrom  $i_1$  der Hilfskatode 11. In Fig. 2c ist praktisch eine Überlagerung der Kurven gemäß Fig. 2a und 2b dargestellt, nämlich die 15 Abhängigkeit des Emissionsstromes  $i_2$  der Hauptkatode 12 von der Beschleunigungsspannung  $u_1$  der Hilfskatode. Es ist erkennbar, daß die Einzelglieder des Strahlerzeugers Regelungstechnisch gesehen mit Totzeiten und einem Proportionalitätsverhalten behaftet sind. Zur Eliminierung der Totzeiten dienen die mittels der 20 Verstellwiderstände 30 und 43 an die Mischpunkte 29 bzw. 38 angelegten Signale, die im Falle der Fig. 2 beispielsweise jeweils den mit  $\textcircled{A}$  bezeichneten Wert haben. Die Wirkung ist die, daß der 0-Punkt des 25 Koordinatensystems auf den jeweiligen Punkt  $\textcircled{A}$  verschoben wird, was in Fig. 2c durch die zweite Ordinate 51 veranschaulicht ist.